



Affaissements et déformations au-dessus des exploitations minières : mécanismes, conséquences et facteurs influents

Jack-Pierre Piguet

► To cite this version:

Jack-Pierre Piguet. Affaissements et déformations au-dessus des exploitations minières : mécanismes, conséquences et facteurs influents. Conférence mondiale sur le développement durable des anciens pays charbonniers "l'Après-Charbon", Mar 1997, Lille, France. ineris-00972121

HAL Id: ineris-00972121

<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00972121>

Submitted on 3 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AFFAISSEMENTS ET DEFORMATIONS AU-DESSUS DES EXPLOITATIONS MINIERES : MECANISMES, CONSEQUENCES ET FACTEURS INFLUENTS

J.P. PIGUET

[LAEGO, Ecole des Mines de Nancy/INERIS]

I - INTRODUCTION

Toutes les modifications des caractéristiques des vides préexistants dans le sous-sol, qu'elles soient d'origine naturelle ou dues à l'activité humaine, sont susceptibles d'avoir des effets à la surface ou dans la subsurface.

Mais ces effets peuvent prendre des formes phénoménologiques extrêmement différentes selon la nature de ces vides, leur histoire, leur position par rapport à la surface, leur géométrie, leurs relations avec les fluides qui imprègnent les terrains (eau, pétrole etc).

Effondrements brutaux, affaissements plus ou moins lents, tassements... tous ces phénomènes n'auront, par ailleurs, pas les mêmes conséquences pratiques selon leur ampleur, mais aussi selon la vulnérabilité de ce qui se trouve à la surface (habitations, cours d'eau, voies de communications, installations industrielles, terrains agricoles ou déserts). Ces conséquences sont, en outre, modulées par les propriétés des terrains superficiels (leur plus ou moins grande déformabilité, par exemple, déterminera en partie leur faculté d'adaptation aux déformations).

Pour un même phénomène de base la gamme des conséquences s'étend donc "d'insignifiantes" à "catastrophiques". Afin de délimiter la question, nous n'examinerons dans cet exposé que les phénomènes associés aux travaux d'extraction, effectués dans le contexte des mines et carrières souterraines. Nous excluons donc l'étude des subsidences provoquées par l'exploitation du gaz ou du pétrole, celle des tassements de surface induits par le creusement des tunnels, gares souterraines, ou autres constructions liées au développement de l'urbanisme souterrain ainsi que les situations associées à des phénomènes naturels : (cavités karstiques, extension de cavités de dissolution, retrait/gonflement de sols très argileux en cas de modification de leur teneur en eau etc.).

Nous focaliserons notre attention sur le cas particulier des exploitations dites totales c'est-à-dire pour lesquelles le minerai a été presque intégralement extrait, sur une vaste superficie, chiffrée souvent en km^2 , et éventuellement dans plusieurs couches superposées (figure 1).

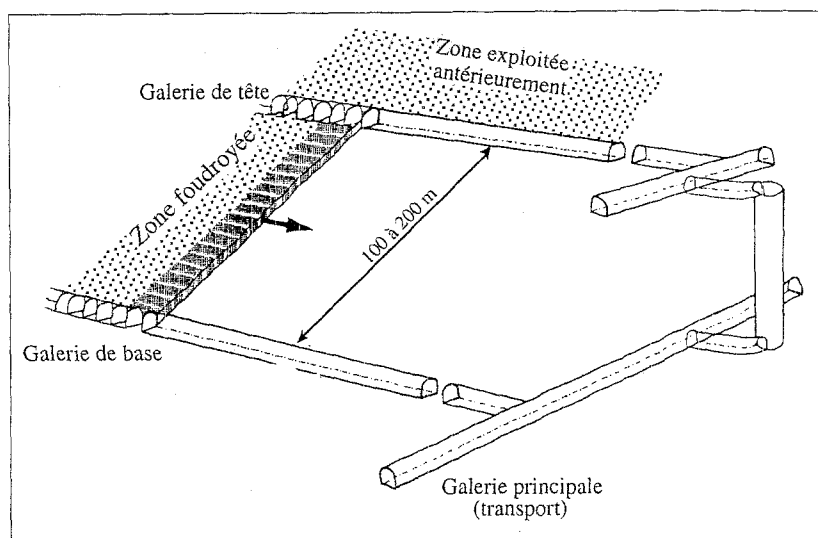


Figure 1 : Exploitation totale par longue taille rabattante foudroyée.

Cette méthode d'extraction est opposée aux exploitations "partielles", où un pourcentage important de minerai (parfois plus de 50 %) a été délibérément laissé en place sous forme de piliers (voir figure 2).

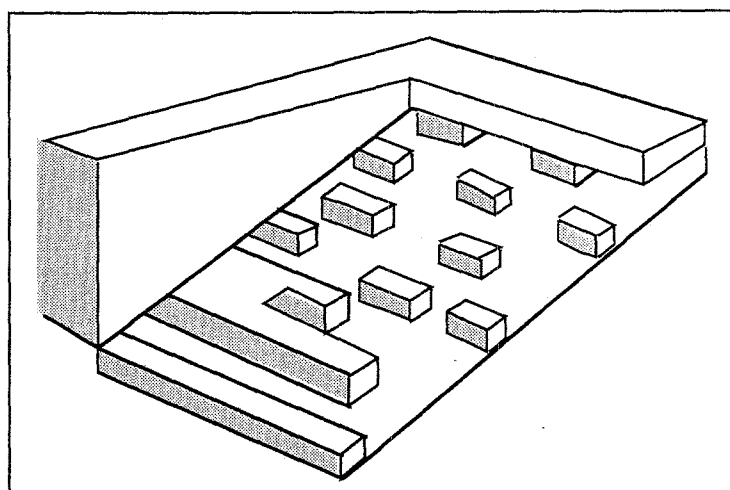


Figure 2 : Exploitation partielle par chambres et piliers abandonnés.

La première forme d'exploitation était celle qui a été le plus généralement utilisée dans le Bassin Houiller du Nord-Pas-de-Calais, et a donné lieu aux phénomènes réguliers d'affaissement. La seconde méthode, pratiquée surtout à faible et moyenne profondeur (typiquement dans les carrières de craie de cette même région Nord-Pas-de-Calais) est en principe destinée à limiter voire empêcher les affaissements. Mais, en cas de défaillance des piliers, elle peut être à l'origine des phénomènes d'effondrements brutaux affectant la surface.

Dans la suite, nous analyserons d'abord les phénomènes élémentaires de l'existence et de l'extension des vides souterrains, qui interviennent de façon décisive dans l'impact à la surface.

Ensuite nous présenterons l'état des connaissances relatives aux affaissements de surface au dessus des exploitations totales du point de vue des mécanismes de base, des méthodes de prévision, de l'influence des facteurs.

Nous évoquerons ensuite brièvement le cas des exploitations partielles (dites par chambres et piliers abandonnés).

II - LE PHENOMENE ELEMENTAIRE VU DEPUIS LES OUVRAGES SOUTERRAINS : L'EBOULEMENT

De manière générale, les phénomènes auxquels on s'intéresse ici apparaissent d'abord au niveau des travaux du fond. Dans notre contexte, on peut définir l'éboulement comme la dislocation rapide et la chute des terrains sus-jacents à une cavité. Ce phénomène ne doit pas être envisagé de la même manière selon qu'on le considère à partir des ouvrages souterrains ou du point de vue des conséquences pratiques à la surface.

Au fond, les terrains éboulés autour d'une cavité sont toujours divisés en de nombreux blocs de tailles et de formes variables, et, de ce fait s'entassent en remplissant un volume plus grand que celui qu'ils occupaient à l'état naturel initial. Le rapport entre ces deux volumes, appelé coefficient de foisonnement et noté K, joue un rôle déterminant sur les conséquences éventuelles à la surface.

Un calcul simple peut être proposé pour décrire et quantifier ce phénomène. Si on appelle W la hauteur de la cavité, L sa largeur et h la hauteur susceptible de s'ébouler, on écrira que, par "tranche" de cavité métrique (dans la 3^{ème} dimension), $(W + h) \times L \times 1 = K \times h \times L \times 1$.

$$\text{soit : } h = \frac{W}{K - 1}$$

Si ρ représente la densité du terrain en place et ρ' la densité foisonnée, $K = \frac{\rho}{\rho'}$. Mais la mesure précise de ρ' est malaisée.

Dans les exploitations des charbonnages français, une relation statistique totalement empirique a été établie à partir de nombreuses observations pour estimer K [MAHMOUD 1984]

$$K = 1 + \left(\frac{NB}{Rc} \right)^{1/3}$$

NB étant le nombre de bancs dans les dix premiers mètres du toit, se distinguant entre eux par des contrastes marqués de faciès et de résistance, et Rc leur résistance à la compression simple moyenne, pondérée par leur épaisseur et exprimée en bar. $(Rc = \sum_{i=1}^{NB} h_i R_{ci} / 10 \text{ avec } \sum h_i = 10 \text{ m})$.

Pour un terrain massif et assez résistant (par exemple 5 bancs sur 10 m ayant une résistance moyenne de 800 bars) on trouverait $K = 1,18$ et pour un terrain finement stratifié (20 bancs de résistance moyenne 10 MPa) on trouverait $K = 1,58$.

La hauteur h atteinte par la partie éboulée varie ainsi de 2 à 10 fois la hauteur de la cavité ouverte. pour K variant respectivement de 1,5 à 1,1. Cette évaluation est confirmée par WHITTAKER et REDDISH [1989] qui indiquent que la hauteur d'une cloche d'éboulement au-dessus des galeries minières est comprise entre 2 et 6 fois leur dimension verticale, pour K variant de 1,5 à 1,2.

Ce phénomène de foisonnement permet aux terrains éboulés de remplir à la fois le volume de la cavité et le volume initial qu'ils occupaient, ce qui a pour effet possible de stopper le mécanisme d'éboulement (les terrains sus-jacents trouvant à ce moment là un appui sur le tas d'éboulis). Il contribue, par là même, à limiter la hauteur de cloche d'éboulement à quelques mètres ou dizaines de mètres (par exemple 25 m pour une hauteur de cavité de 2,50 m et $K = 1,2$).

D'autre part, la présence entre la surface et la cavité éboulée d'horizons plus résistants, ou tout simplement capables de conserver une relative continuité géométrique malgré leur mise en flexion peut aussi suffire à interrompre la propagation de l'éboulement en surface, ou à en limiter les effets. à condition que la largeur exploitée ne soit pas trop grande (de quelques mètres à quelques dizaines de mètres là aussi). La probabilité de rencontrer de tels horizons augmente avec l'approfondissement.

C'est pourquoi le scénario d'un éboulement au fond débouchant à la surface et dégénérant alors en effondrement ne concerne que les cavités à faible profondeur, inférieure à une limite variable selon la nature et la structure des terrains sus-jacents et selon la largeur de la cavité (figure 3). Pour donner un ordre de grandeur, cette limite est en général, nettement inférieure à 100 m.

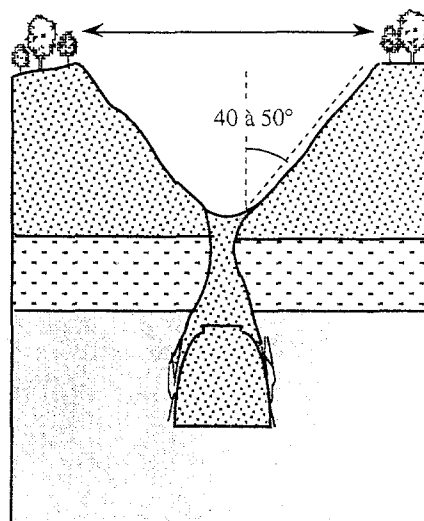


Figure 3 : Exemple d'effondrement de type "fontis".

Dans la plupart des autres cas, l'éboulement au fond a pour conséquence l'apparition d'une cuvette d'affaissement à la surface.

Dans les terrains stratifiés, cette cuvette résulte de la flexion des bancs du recouvrement qui prennent appui sur les éboulis du fond et les tassent. L'amplitude de cette flexion (fréquemment plurimétrique) est évidemment incompatible avec l'hypothèse d'une continuité physique des bancs. Ces derniers sont effectivement prédécoupés par les discontinuités naturelles et fracturés ou fissurés par les modifications de l'état des contraintes accompagnant l'exploitation. C'est cette fracturation qui donne aux bancs une déformabilité à grande échelle bien supérieure à celle qui correspondrait aux

propriétés élastiques des matériaux qui les constituent, et leur permet de supporter cette flexion sans se déstructurer.

III - LE PHENOMENE ELEMENTAIRE VU DEPUIS LA SURFACE : L'AFFAISSEMENT

1 - Mécanisme de base

Le mouvement d'un point considéré à la surface du sol au dessus d'une cavité souterraine est défini et caractérisé par les déplacements verticaux et horizontaux progressifs ressentis à la surface. L'affaissement proprement dit se distingue des effondrements qui se traduisent par un comportement discontinu dans le temps et dans l'espace (soudaineté de leur apparition et achèvement en quelques minutes ou tout au plus quelques heures, rupture franche à la surface entre la zone effondrée et la zone environnante en place).

Naturellement, beaucoup de phénomènes réels observés se situent à la lisière et sont difficiles à classer.

La "cuvette" d'affaissement est caractérisée par les paramètres suivants :

- la différence de cote du centre de la cuvette par rapport à la cote initiale de la surface. Cet affaissement (déplacement vertical) du centre de la cuvette sera noté A .
- la largeur de la cuvette : c'est ce paramètre qui permet d'introduire la notion d'angle d'influence. défini comme l'angle formé avec la verticale par la droite qui relie un bord de la cavité avec les premiers points de la surface subissant un déplacement négligeable voire nul (quand on s'éloigne de l'aplomb de la cavité). [voir figure 4].

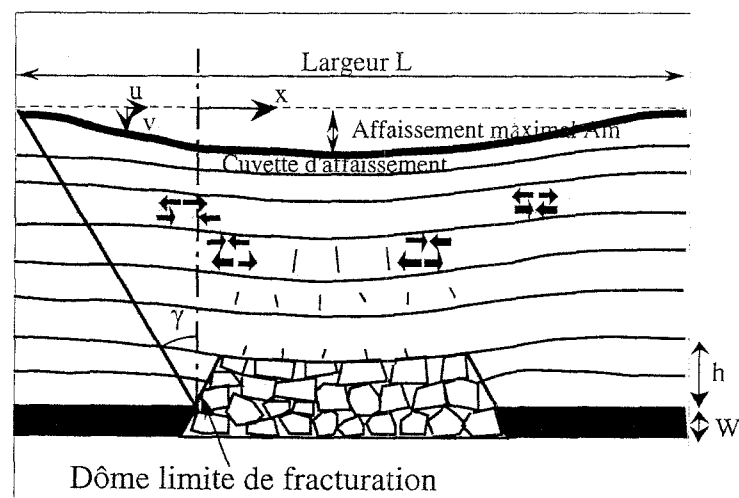


Figure 4 : Mécanisme de base des affaissements de surface.

Le déplacement vertical A du centre de la cuvette ne peut excéder une valeur qui dépend de plusieurs facteurs et qu'on appelle affaissement maximum A_m . Cette valeur est fondamentalement déterminée par le tassement des terrains éboulés, occupant la hauteur de la cavité responsable du phénomène. augmentée de la partie du toit éboulée (soit $W + h$ défini précédemment).

Elle dépend de la déformabilité de ces terrains éboulés et de la charge qui s'exerce sur eux, donc de la profondeur (mais de façon complexe et non linéaire, comme il sera expliqué plus loin). A la limite, si le tassement ramenait la densité des terrains éboulés, de hauteur h , à sa valeur initiale ρ , l'affaissement A_m atteindrait au maximum W , l'ouverture exploitée qui constitue donc une borne supérieure de A_m .

2 - Conséquences du mécanisme de base

En contexte sédimentaire, nous avons vu que les bancs qui composent le recouvrement sont soumis à un régime de flexion dont la flèche est au plus égale à l'affaissement au centre de la cuvette apparaissant en surface.

Cette situation a des conséquences mécaniques hydrauliques et géométriques importantes :

- chacun des bancs, différencié de ses proches voisins par ses propriétés mécaniques et/ou sa fracturation, est soumis dans sa partie centrale à des contraintes horizontales soit de traction, soit de compression, analogues à celles qui se développent dans une poutre fléchie au-dessous ou au-dessus de la fibre neutre. Des contraintes de ce type apparaissent également au voisinage des encastremements à l'aplomb des bords de la cuvette d'affaissement (figure 4).

De tels états de contraintes agissent sur les fissures ou fractures préexistantes qui traversent les bancs (nous avons vu que ces discontinuités donnaient aux bancs la déformabilité nécessaire pour tolérer des flèches plurimétriques, tout en conservant une continuité apparente à grande échelle) : l'ouverture (sous des sollicitations de traction) ou, au contraire, la fermeture (sous les contraintes compressives) de ces fissures ont respectivement tendance à augmenter ou à diminuer les perméabilités locales.

Les potentialités d'écoulements hydrauliques dans le sens vertical sont ainsi très probablement modifiées, par rapport à l'état initial, mais sans qu'il soit facile de prédire, a priori, quel pourrait être le régime résultant de ces phénomènes complexes et contradictoires.

- les déplacements des points de la surface du sol ont une composante verticale (qui est l'affaissement proprement dit) et une composante horizontale (nulle au centre de la cuvette).

Les ouvrages ou bâtiments construits à la surface sont évidemment sollicités pour accompagner les mouvements des terrains et on sait que les déplacements purement verticaux sont sans conséquences graves pour les constructions. En revanche, des désordres et dommages peuvent apparaître sur les bords de la cuvette d'affaissement, dus à la mise en pente du sol dans cette zone, à sa courbure et surtout au différentiel de déplacement horizontal entre deux points voisins. Celui-ci s'exprime par la dérivée $\frac{\partial u}{\partial x}$, u étant la fonction qui décrit l'évolution de la composante horizontale des déplacements en bordure de cuvette par rapport à une abscisse x portée sur un axe horizontal, et est appelé déformation horizontale noté ϵ_H^1 .

¹ On admet parfois que la composante horizontale du déplacement est proportionnelle à la dérivée de la composante verticale par rapport à x (proportionnelle donc à la pente de la cuvette d'affaissement en tout point). Dans cette hypothèse la déformation horizontale ϵ_h est proportionnelle à la dérivée seconde de l'affaissement vertical.

Les déformations horizontales ϵ_H sont soit des raccourcissements (parfois abusivement appelés compressions) vers l'intérieur de la cuvette d'affaissement, soit des extensions vers l'extérieur de celle-ci par rapport au point d'inflexion.

Il a été montré que ces différentes grandeurs sont proportionnelles à l'affaissement maximal A_m . Ainsi on utilise classiquement les relations suivantes :

* déplacement horizontal maximal : $u_m = k_1 A_m$

avec k_1 de l'ordre de 0,4 pour les charbonnages français ;

* pente maximale : $P_m = K_2 \times A_m/H$

H étant la profondeur du gisement exploité, et K_2 de l'ordre de 2 pour les charbonnages français :

* extension (ou raccourcissement) maximum :

$\epsilon_m = K_3 \times A_m/H$, avec K_3 de l'ordre de 0,75 mais pouvant atteindre 2 pour des vides de petites dimensions.

Les dommages consécutifs aux extensions ou raccourcissements sont, en outre, en relation avec la longueur L des ouvrages qui les subissent. Le degré de gravité des dégâts selon les valeurs de ϵ_H et L est donné à titre indicatif par des abaques du type de la figure 5 établis par les charbonnages du Royaume Uni.

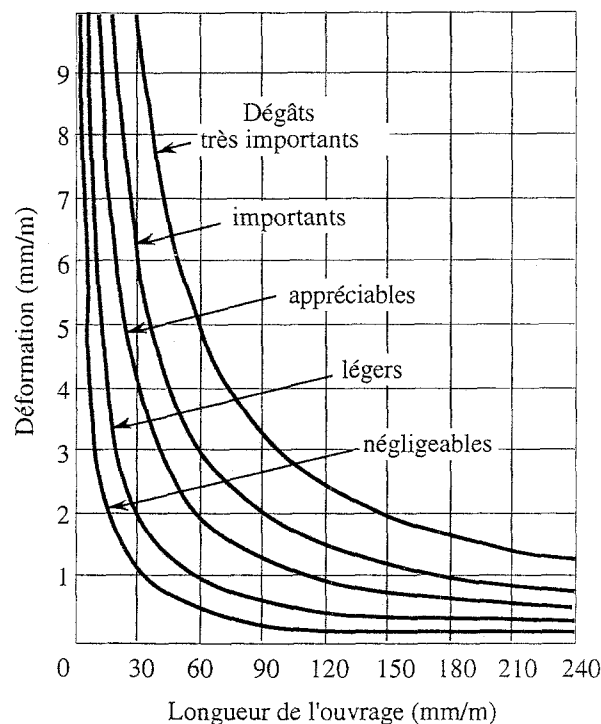


Figure 5 : Caractérisation des dégâts résultant des déformations horizontales.

3 - Influence de quelques facteurs

Les paramètres qui caractérisent le mécanisme de base et ses conséquences décrits plus haut, sont influencés par de nombreux facteurs naturels ou liés aux méthodes d'exploitation. Nous examinerons

successivement les plus importants d'entre eux, sachant qu'ils peuvent être l'objet de fortes interactions (par exemple entre la profondeur et la largeur exploitée).

a) Influence du ratio "profondeur sur largeur de la cavité exploitée"

A une profondeur donnée, il existe une largeur de cavité, qualifiée de "critique", pour laquelle un point de la surface et un seul subit l'affaissement maximal A_m . Au-delà de cette largeur critique, la cuvette présente un fond plat, constitué par tous les points dont l'affaissement vaut A_m , et la largeur de la cuvette grandit comme la largeur de la cavité (largeur surcritique). En-deçà de la largeur critique, l'affaissement de surface est incomplet (largeur sous-critique) et peut même être inexistant si la cavité est très étroite par rapport à la profondeur (figure 6).

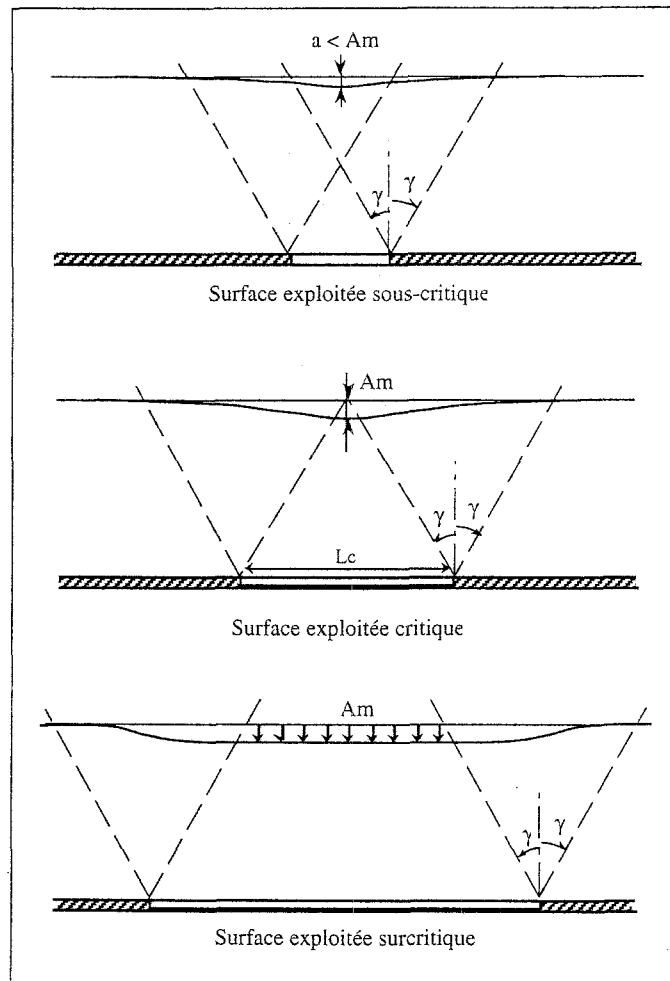


Figure 6 : Influence du ratio largeur exploitée/profondeur.

Il est généralement supposé que la courbe, représentant le bord de cuvette d'affaissement, admet un point d'inflexion situé à l'aplomb du bord de la cavité (ou à son voisinage immédiat) et qu'elle est symétrique par rapport à lui. Dans ce cas, la largeur critique "Lc", pour une profondeur H et un angle d'influence γ , s'écrit :

$$Lc = 2 \times H \times \operatorname{tg} \gamma$$

Dans le bassin du Nord et du Pas de Calais, γ est en moyenne égal à 35° donc L_c est égal à $1.4 H$ ($\text{tg } \gamma = 0,7$).

b) influence de la lithologie du recouvrement

La morphologie du bord de la cuvette d'affaissement est particulièrement sensible à la nature des terrains de recouvrement. En largeur surcritique, cette morphologie est bien caractérisée par deux paramètres :

- l'angle d'influence γ , défini précédemment, et qui est en relation évidente avec la largeur de la cuvette d'affaissement,
- l'amplitude de l'affaissement maximum A_m .

Des bancs résistants et surtout raides conduisent à des bords de cuvette plus aplatis, donc des angles, mesurés par rapport à la verticale, plus forts et à des valeurs d'affaissement maximal plus petites que dans le cas de recouvrements de faible cohésion, tels que des terrains naturellement peu structurés ou très déconsolidés à la suite de nombreux travaux d'exploitation successifs.

La figure 7 illustre bien ces considérations à partir de cas réels [ARCAMONE, 1980].

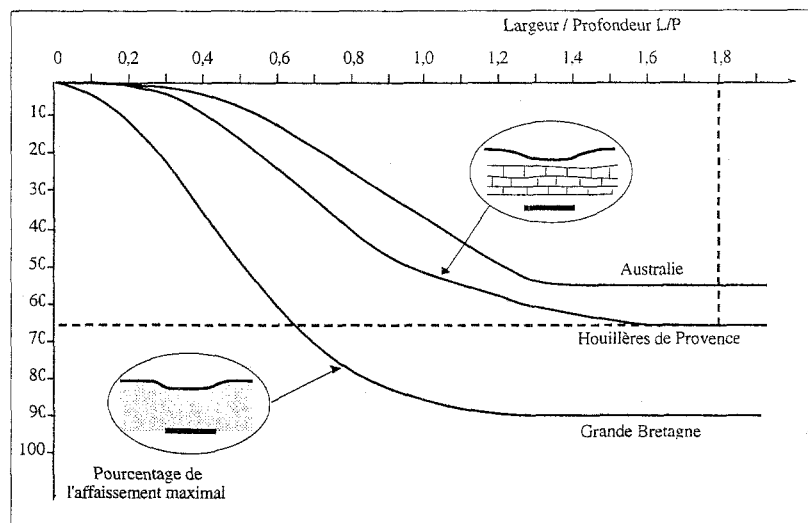


Figure 7 : Profil d'affaissement pour différents types de recouvrement.

De nombreux auteurs ont proposé des équations mathématiques pour les courbes de bord de cuvette (appelées fonction de profils), dont quelques exemples sont donnés sur la figure 8 [d'après WHITTAKER et REDDISH, 1989].

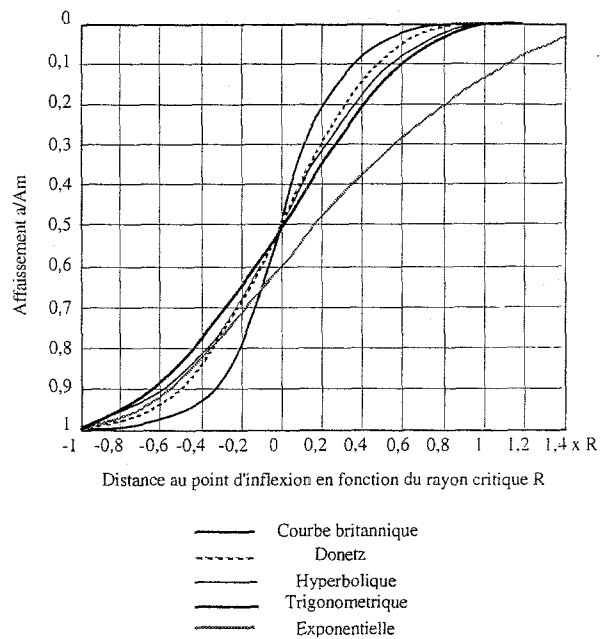


Figure 8 : Comparaison de quelques fonctions de profils (d'après Whittaker et Reddish).

En pratique, les valeurs de l'angle d'influence γ varient de 13° à 45° . La forme de la cuvette et les valeurs des angles d'influence dépendent aussi du pendage de la couche exploitée (voir figure 9).

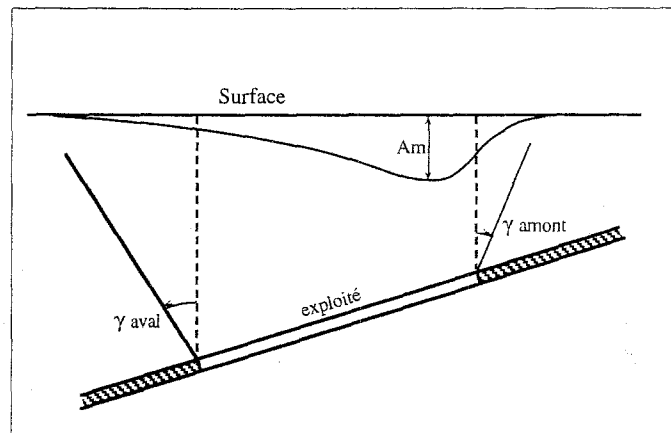


Figure 9 : Influence du pendage sur le profil d'affaissement.

Il est clair que les risques liés aux affaissements miniers sont à évaluer différemment selon qu'ils conduisent à des déformations concentrées et intenses, ou plus faibles mais concernant des secteurs sensibles plus étendus.

c - Influence de la profondeur

La profondeur des exploitations est un facteur essentiel dans le processus d'affaissement. Elle intervient en effet :

- dans la détermination de la largeur critique qui fixe l'affaissement maximal (inférieur ou égal à A_m).
- dans la détermination de A_m , dont nous rappelons qu'il est proportionnel au tassement des terrains éboulés.

A faible profondeur (inférieur à cent ou deux cents mètres), le poids du recouvrement est insuffisant pour que ce tassement soit complet et l'ordre de grandeur de A_m est voisin de la moitié de l'ouverture exploitée W . Il tend vers W pour des profondeurs moyennes à grandes (environ 500 m et jusqu'à 1000 m selon les propriétés du recouvrement). A très grande profondeur, (plusieurs milliers de mètres), les chances d'apparition de réajustements et d'équilibrages partiels des bancs ou des blocs du recouvrement augmentent et sont susceptibles, à nouveau, de limiter la valeur de A_m . La probabilité est aussi plus grande de rencontrer des bancs épais et raides structurants dans le recouvrement. Enfin, de telles exploitations sont rarement surcritiques. Tout concourt donc dans ce cas, à une réduction de A_m .

A_m est souvent exprimé sous la forme : $A_m = k \times W \times q$.

où k est le coefficient (inférieur à 1) relatif à l'effet de profondeur, et q un coefficient qui dépend du mode de traitement des vides créés par l'exploitation (foudroyage, remblayage voire piliers abandonnés...).

d - Mode de traitement des vides

Dans le cas des exploitations totales, le traitement des vides après exploitation peut être le foudroyage, c'est-à-dire l'éboulement contrôlé du toit immédiat, ou le remblayage hydraulique ou pneumatique, c'est-à-dire par voie humide ou sèche.

Le coefficient q ci-dessus permet d'introduire la notion d'ouverture exploitée équivalente W^* telle que : $W^* = W \times q$. On estime que :

- $q \cong 0,9$ pour le foudroyage
- $q \cong 0,2$ à $0,3$ pour le remblayage hydraulique
- $q \cong 0,5$ pour le remblayage pneumatique.

Dans le cas du foudroyage, la valeur 0,9 tient compte du phénomène de remontée du mur de la couche lorsque l'exploitation le décharge brusquement de la contrainte verticale due aux terrains sus-jacents.

e - Cas particulier des exploitations partielles

Les exploitations partielles, du type chambres et piliers abandonnés, sont le plus souvent dimensionnées en vue de rendre négligeables les affaissements en surface ou, du moins, de les minimiser. Le principe de base de cette méthode d'exploitation consiste à faire supporter par les piliers le poids des terrains sus-jacents. L'état de contrainte qui s'applique sur eux est de ce fait très largement modifié par rapport à celui qui régnait originellement avant exploitation : la charge verticale est augmentée d'autant plus que le taux d'extraction est élevé tandis que les contraintes horizontales sont diminuées.

Si tout se passe comme prévu, la déformation des piliers sous la surcharge appliquée correspond à l'affaissement à attendre en surface ΔW (en pratique quelques centimètres) on peut écrire :

$$\Delta W/W = \sigma_p/E$$

W étant la hauteur des piliers et ΔW sa variation, E le module élastique de la roche constituant les piliers, et σ_p la charge verticale moyenne qui leur est appliquée.

σ_p est classiquement calculé grâce au modèle simple dit de "l'aire tributaire" par la formule.

$$\sigma_p = \frac{\rho g H}{1 - \tau} \text{ en MPa}$$

où ρg est le poids volumique moyen (en MN/m³) des terrains de recouvrement, H leur épaisseur (en mètres) et τ le taux d'extraction (volume extrait divisé par le volume initial de minerai dans le secteur considéré).

Il peut toutefois arriver que la charge σ_p excède la résistance du pilier ou que tout autre mécanisme conduise ce dernier à la ruine. La rupture peut se propager progressivement aux piliers voisins (ne serait-ce que parce qu'ils doivent supporter à leur tour la charge qui incombait aux piliers défaillants) et les effets en surface prennent alors une allure similaire à celle provoquée par une exploitation totale (cuvette d'affaissement). Le phénomène de foisonnement s'applique aux piliers détruits qui contribuent à remplir le vide excavé. La hauteur de vide résiduelle, ainsi laissée disponible pour l'éboulement du toit, qu'on peut définir aussi comme ouverture équivalente W^* , s'écrit alors :

$$W^* = W - (1 - \tau) \times W \times K$$

L'éboulement du toit consécutif à la défaillance des piliers concerne donc une hauteur h qui s'exprime comme dans le cas des exploitations totales foudroyées sous la forme :

$$h = \frac{W^*}{K - 1}$$

En terme d'affaissement, on peut se ramener ainsi au raisonnement relatif aux exploitations totales. à la durée du phénomène près.

Un dernier type de phénomène susceptible d'apparaître dans le cas des exploitations partielles. est celui qui est le plus souvent appelé "effondrement spontané". [TINCELIN et al 1962].

L'analyse de ce phénomène, heureusement rare, met au premier plan l'importance de certaines singularités dans les terrains du recouvrement. Pour simplifier, on pourra retenir que ce phénomène très brutal et destructeur est mis en relation avec la présence dans le recouvrement d'un banc épais et raide qui cède soudainement après avoir été mis en flexion car les piliers destinés à le soutenir se rompent. Cette défaillance généralisée des piliers peut avoir de multiples causes (rupture simultanée par compression excessive, destruction par fluage horizontal de bancs déformables qui les traversent. poinçonnement du mur de la couche, etc). Une grande quantité d'énergie est ainsi libérée en un court laps de temps et s'accompagne d'une secousse sismique. A la surface, ces effondrements se traduisent par une brusque descente d'ensemble des terrains, à l'aplomb du secteur affecté. nettement démarquée des zones environnantes (effet de "marche d'escalier "). (figure 10).

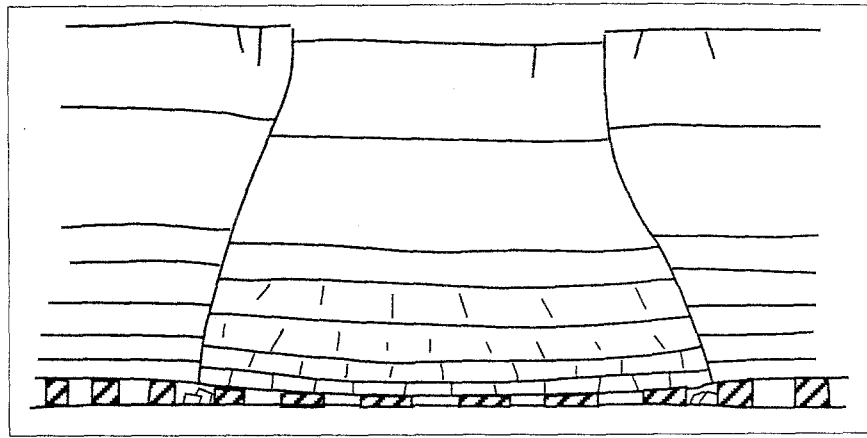


Figure 10 : Exemple d'effondrement généralisé.

L'amplitude de ce décalage est de l'ordre de grandeur du vide disponible dans l'exploitation (soit $\tau \times W$) et on considère que le phénomène est trop rapide pour qu'on prenne en compte l'éboulement et le foisonnement des roches autour des excavations.

IV - CONCLUSION

Comme c'est toujours le cas des phénomènes dans lesquels les conditions naturelles jouent un rôle prépondérant, les affaissements et déformations au-dessus des exploitations minières présentent une variabilité qui constitue une difficulté pour leur analyse et surtout pour leur prévision.

L'expérience et la réflexion accumulées depuis que l'exploitation industrielle des matières premières s'est développée (environ deux siècles en Europe Occidentale) conduisent aujourd'hui à un corpus de connaissances cohérent et bien unifié, relatif aux mécanismes et aux concepts fondamentaux ainsi qu'à l'influence des principaux facteurs.

Cet article ne fait qu'introduire le sujet en insistant sur ces schémas de base, volontairement simplificateurs mais bien établis, autour desquels peuvent se développer les éléments d'une complexification qui permet d'approcher progressivement au plus près les diverses réalités rencontrées. Ainsi certains facteurs n'ont pas ou peu été abordés ici. C'est le cas de l'influence du temps à la fois dans le déroulement du processus au cours duquel se met en place un régime d'affaissement et dans son évolution à long terme. La prise en compte de l'eau souterraine n'a été qu'évoquée, que ce soit en tant que facteur influençant les phénomènes d'affaissement ou en terme de conséquence de ce dernier sur les écoulements. Le rôle des particularités géologiques, et structurales, en surface (affleurements de failles, topographie etc) ainsi qu'en profondeur, est également très important à analyser.

Ces aspects sont traités dans certaines communications du colloque et correspondent, à l'heure actuelle, à des besoins de recherche et développement identifiés.

L'enjeu essentiel est d'améliorer les méthodes de prévision. Celles-ci restent principalement de nature empirique, et, à ce titre, même lorsqu'elles sont bien étalonnées sur un bassin, demeurent difficilement extrapolables dans le temps et dans d'autres contextes.

Les apports récents des modélisations numériques et leur développement continu, enrichis de nouveaux retours d'expérience, permettent d'espérer des progrès significatifs à cet égard.

V - REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CHAMBON C., 1985 : "A la recherche d'un critère pour le calcul de la force portante du soutènement dans une taille". Rapport interne, laboratoire de Mécanique des Terrains - Ecole des Mines de Nancy.

JOSIEN J.P., 1974 : "Contrôle des terrains dans l'exploitation par tailles". Thèse Docteur-Ingénieur (Université de Nancy I, Institut National Polytechnique de Lorraine).

LEBLAIS Y. et al., : "Tassements liés au creusement des ouvrages en souterrain". (Texte provisoire des recommandations du groupe de travail n° 16 de l'AFTES). Tunnels et Ouvrages Souterrains n° 132 Nov/Déc. 1995 pp. 373-395.

MAHMOUD Y.S.E., 1984 : "Analyse de l'influence des différents paramètres d'exploitation et facteurs naturels sur le comportement des terrains dans l'exploitation par longues tailles". Thèse Docteur-Ingénieur, Laboratoire de Mécanique des terrains, Ecole des Mines de Nancy. INPL.

WHITTAKER B.N. and REDDISH., 1989 : "Subsidence, Occurrence, Prediction and Control". Elsevier Ed., Amsterdam.

WHITTAKER B.N. and REDDISH., 1993 : "Subsidence behavior of rock structures. In comprehensive rock engineering". Pergamon press.

PROUST A., 1964 : "Etude sur les affaissements miniers dans le Bassin du Nord et du Pas-de-Calais". Revue de l'Industrie Minérale, juin -juillet 1964.

ARCAMONE J., 1980 : "Méthodologie d'étude des affaissements miniers en exploitation totale et partielle". Thèse de l'Institut National Polytechnique de Lorraine.

TINCELIN E., SINOU P., 1962 : "Effondrements brutaux et généralisés, coup de toit". Revue de l'Industrie Minérale.

TINCELIN E. , 1982 : "La stabilité de la surface à l'aplomb des exploitations souterraines en mines métalliques ou assimilées, piliers abandonnés ou îlots". Revue de l'Industrie Minérale.